

for ISS

1/1 PLUSPAT - (C) QUESTEL-ORBIT image

PN - JP5157647 A 19930625 [JP05157647]

TI - (A) VIBRATION-TYPE SENSOR

PA - (A) YOKOGAWA ELECTRIC CORP

PA0 - (A) YOKOGAWA ELECTRIC CORP

IN - (A) FUKUHARA SATOSHI; YOSHIDA TAKASHI; KUDO TAKAHIRO; IKEDA  
KYOICHI

AP - JP32582691 19911210 [\*\*\*1991JP-0325826\*\*\*]

PR - JP32582691 19911210 [1991JP-0325826]

STG - (A) Doc. Laid open to publ. Inspec.

AB - PURPOSE: To enable a sensor to be strong against noise and to be able to maintain stability and high accuracy by providing a vibrator at a diaphragm which is formed at one part of a silicon substrate, detecting a resonance frequency which changes according to a distortion which is generated at the diaphragm, and then performing self-excitation oscillation by positively feeding back it.

- CONSTITUTION: A vibrator 43 is provided at a diaphragm 31 which is formed at one part of a silicon substrate. A resonance frequency which changes according to distortion which is generated at the diaphragm 31 is detected and it is subjected to positive feed-back to a vibrator 23 and then a self-excitation oscillation continues. A frequency comparison circuit 28 calculates a deviation between a reference frequency which is output from a reference frequency oscillator 27 and a measurement frequency which is generated at a piezo resistance part 37 which is formed by the vibrator 23 and then outputs a control signal corresponding to the deviation. On the other hand, a current control circuit 29 allows a DC current corresponding to the control signal to flow to the resistance part 37, a piezo resistance element to be heated and distortion to be generated for changing an oscillation frequency, and then the deviation to be controlled to be 0 and an output signal corresponding to distortion to be output as an output signal.

- COPYRIGHT: (C)1993,JPO&Japio

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-157647

(43)公開日 平成5年(1993)6月25日

(51)Int.Cl. <sup>3</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 1 L 9/00	C	9009-2F		
H 0 1 L 29/84	Z	8518-4M		

審査請求 未請求 請求項の数1(全5頁)

(21)出願番号 特願平3-325826

(22)出願日 平成3年(1991)12月10日

(71)出願人 000006507

横河電機株式会社

東京都武蔵野市中町2丁目9番32号

(72)発明者 福原 聡

東京都武蔵野市中町2丁目9番32号 横河

電機株式会社内

(72)発明者 吉田 隆司

東京都武蔵野市中町2丁目9番32号 横河

電機株式会社内

(72)発明者 工藤 貴裕

東京都武蔵野市中町2丁目9番32号 横河

電機株式会社内

(74)代理人 弁理士 小沢 信助

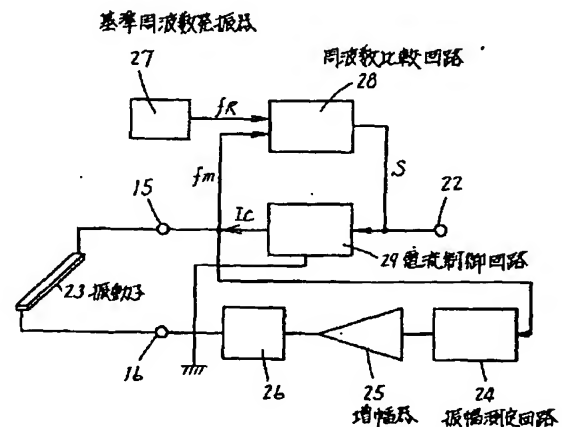
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 振動式センサ

(57)【要約】

【目的】 ノイズに強く安定で高精度が維持できるように改良された振動式センサを提供するにある。

【構成】 シリコン基板の一部に形成されたダイアフラムに振動子が設けられこのダイアフラムに生じる歪に対応して変化する共振周波数を検出しこれを先の振動子に正帰還して自励発振を継続する振動式センサにおいて、先の振動子に形成されたピエゾ抵抗部と、所定の基準周波数を出力する基準周波数発生手段と、この基準周波数と先のピエゾ抵抗部に生じる測定周波数との偏差を演算してこの偏差に対応する制御信号を出力する周波数比較手段と、先の制御信号に対応する直流電流を先のピエゾ抵抗部に流す電流制御手段とを具備し、先の共振周波数が先の基準周波数に一致するように先の制御信号により制御してこの制御信号を先の歪に対応する出力信号とするようにしたものである。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】シリコン基板の一部に形成されたダイアフラムに振動子が設けられこのダイアフラムに生じる歪に対応して変化する共振周波数を検出しこれを前記振動子に正帰還して自励発振を継続する振動式センサにおいて、前記振動子に形成されたピエゾ抵抗部と、所定の基準周波数を出力する基準周波数発生手段と、この基準周波数と前記ピエゾ抵抗部に生じる測定周波数との偏差を演算してこの偏差に対応する制御信号を出力する周波数比較手段と、前記制御信号に対応する直流電流を前記ピエゾ抵抗部に流す電流制御手段とを具備し、前記共振周波数が前記基準周波数に一致するように前記制御信号により制御してこの制御信号を前記歪に対応する出力信号とすることを特徴とする振動式センサ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、シリコン基板の一部に形成されたダイアフラムに振動子が設けられこのダイアフラムに生じる歪に対応して変化する共振周波数を検出しこれを振動子に正帰還して自励発振を継続する振動式センサに係り、特にノイズに強く安定で高精度が維持できるように改良された振動式センサに関する。

## 【0002】

【従来の技術】図 5 は従来の振動式センサにおける検出部の構成を示す構成図である。図 6 はこの検出部の振動子に接続される変換部を含むシステム構成図である。図 5 において、10 は n 形のシリコンの単結晶をベースとして構成されたシリコン基板を示し、このシリコン基板 10 の中央はエッチングされて凹部とされここにダイアフラム 11 が形成されている。凹部には測定圧力  $P_m$  が印加され、これによりダイアフラム 11 に測定圧力  $P_m$  に対応する歪が発生される。

【0003】また、ダイアフラム 11 の周囲には凹部を形成することにより厚肉部 12 が形成され、この厚肉部 12 の底面でシリコン基板 10 が固定される。ダイアフラム 11 の上の厚肉部 12 の近傍には、振動子 13、14 がその底部と側面部とがアンダーエッチにより切り込まれてそれぞれ両端が固定された梁として形成されている。振動子 14 は、振動子 13 よりダイアフラム 11 の中央部側に配置されている。

【0004】振動子 13 には接続端 15、16 が設けられている。接続端 15 には振幅測定回路 17 の入力端が接続され、その出力端は A G C 回路（自動利得制御回路）18 の入力端に接続されている。A G C 回路 18 の出力端は、励振回路 19 を介して接続端 16 に接続されている。これ等の振動子 13、振幅測定回路 17、A G C 回路 18、および励振回路 19 で構成されるループは正帰還が掛かるように接続されている。

【0005】したがって、このループは振動子 13 の固有振動数に対応する共振周波数  $f_p$  で自励発振する。こ

の共振周波数  $f_p$  は、基準クロック発生器 20 から出力される基準クロック  $f_k$  が印加された周波数カウンタ 21 により検出されて出力端 22 に測定周波数  $f_m$  として出力される。

05 【0006】測定圧力  $P_m$  がダイアフラム 11 に印加されると、ダイアフラム 11 が歪み、これに伴って振動子 13 にこの歪が伝達されて振動子 13 の固有振動数が変化し共振周波数  $f_p$  が変化する。従って、この共振周波数  $f_p$  に対応する測定周波数  $f_m$  の変化から測定圧力  $P_m$  を知ることができる。

10 【0007】以上の説明では、振動子 13 についてのみ説明したが、実際には、振動子 14 についても同様なループ構成とされている。ただし、振動子 13 と 15 とは測定圧力  $P_m$  に対して互いに反対方向に歪が発生するので、これ等の振動子 13、14 の共振周波数は互いに逆方向に変化し、このためこれ等の測定周波数の差として差動的に測定信号を取り出すことができる。

## 【0008】

15 【発明が解決しようとする課題】しかしながら、以上のような振動式センサは、測定圧力により振動子の共振周波数が大幅に変化するので以下に説明するような問題がある。

（イ）振動子が歪に対して変化する広い帯域でのゲインと位相変化が小さい振動子の励振回路、周波数カウンタ、および増幅器とが必要となる。

（ロ）振動子の共振周波数が広い範囲で変化するので、広い周波数の範囲で外部ノイズのノイズ除去が必要となる。つまり、広い周波数範囲で大きなコモンモード除去比を確保する必要がある。

30 （ハ）2 個の振動子の共振周波数の差を演算して出力する場合は、これ等の共振周波数が一致する測定圧力が存在し、この際に各振動子の共振周波数の付近で共振周波数の引き込み現象が生じて共振周波数のロックが発生する。

35 （ニ）振動子の振幅が歪の変化に応じて変化するので、振動子の振幅を制御する A G C 回路を必要とする。

## 【0009】

40 【課題を解決するための手段】本発明は、以上の課題を解決するための構成として、シリコン基板の一部に形成されたダイアフラムに振動子が設けられこのダイアフラムに生じる歪に対応して変化する共振周波数を検出しこれを先の振動子に正帰還して自励発振を継続する振動式センサにおいて、先の振動子に形成されたピエゾ抵抗部と、所定の基準周波数を出力する基準周波数発生手段と、この基準周波数と先のピエゾ抵抗部に生じる測定周波数との偏差を演算してこの偏差に対応する制御信号を出力する周波数比較手段と、先の制御信号に対応する直流電流を先のピエゾ抵抗部に流す電流制御手段とを具備し、先の共振周波数が先の基準周波数に一致するように先の制御信号により制御してこの制御信号を先の歪に対

応する出力信号とするようにしたものである。

【0010】

【作 用】シリコン基板の一部に形成されたダイアフラムに振動子を設けこのダイアフラムに生じる歪に対応して変化する共振周波数を検出しこれを先の振動子に正帰還して自励発振を継続させているときに、周波数比較手段は基準周波数発生手段から出力される基準周波数と振動子に形成されたピエゾ抵抗部に生じる測定周波数との偏差を演算してこの偏差に対応する制御信号を出力する。

【0011】一方、電流制御手段はこの制御信号に対応する直流電流を先のピエゾ抵抗部に流してピエゾ抵抗素子を発熱させて歪を生じさせて発振周波数を変更させ、先の偏差がゼロになるように制御してこの制御信号を先の歪に対応する出力信号として出力する。

【0012】

【実施例】以下、本発明の実施例について図を用いて説明する。図1は本発明の全体構成を示すシステム構成図、図2は図1に示す振動子を搭載するシリコン基板の断面を示す断面図、図3は図2に示す振動子部分を上面から見た部分上面図である。

【0013】23は振動子であり、この振動子23の両端は接続端15、16に接続されている。接続端15と16の間には、振幅測定回路24、増幅器25、および励振回路26がそれぞれ直列に接続されて、これらは正帰還接続され、振動子23の固有周波数で自励発振を起こしている。

【0014】27は基準周波数発振器であり、基準周波数発振器27は予め決められた基準周波数 $f_R$ を周波数比較回路28の入力的一端に出力する。さらに、周波数比較回路28の入力他端には接続端15から振動子23の発振周波数 $f_0$ が入力されている。

【0015】周波数比較回路28は、発振周波数 $f_0$ が基準周波数 $f_R$ と異なるときにはこれ等の偏差を演算して制御信号Sを出力端22と共に電流制御回路29にも出力する。

【0016】電流制御回路29は、この制御信号Sに基づき、直流電流 $I_c$ を振動子23に出力する。振動子23はこの直流電流 $I_c$ により発熱し、振動子23に歪を発生させ、共振周波数を変化させるが、制御信号Sは発振周波数 $f_0$ の変化を打ち消して常に基準周波数 $f_R$ に一致するように変化させる。

【0017】次に、図2、図3を用いてこのような動作をする振動子23の構成について説明する。シリコン基板30の中央はエッチングされて凹部とされここにダイアフラム31が形成されている。凹部には測定圧力Pmが印加され、これによりダイアフラム31に測定圧力Pmに対応する歪が発生される。

【0018】また、ダイアフラム31の周囲には凹部を形成することにより厚肉部32が形成され、この厚肉部

32の底面でシリコン基板30が固定される。ダイアフラム31の上の厚肉部32の近傍には、振動子23がその底部と側面部とがアンダーエッチにより切り込まれてそれぞれ両端が固定された梁として形成されている。

05 【0019】図3において、n<sup>+</sup>の高抵抗を有するシリコンのダイアフラム31の上には梁状の振動子23が形成されているが、この振動子23を梁状に形成するために、その底部と側面は接続端15、16側の固定端を除いてエッチングにより溝33、34が形成されている。

10 【0020】振動子23の上部には、ひ素或いは燐などの不純物が低濃度でイオン注入され高抵抗を有する高抵抗部35が形成され、さらに振動子23の中央には高濃度に不純物がイオン注入されて低抵抗部36とされ、これらによりピエゾ抵抗部37が形成されている。

15 【0021】このように、梁状の振動子23に形成されたピエゾ抵抗部37の中央に高抵抗部35を、この両側に低抵抗部36を形成するのは、ダイアフラム31に測定圧力Pmが印加されたときに生じるピエゾ抵抗部37の歪が梁の中央部とこの両側とは歪の極性が反対になり、ピエゾ抵抗部37全体として歪よる抵抗変化がキャンセルされるのを防止するためである。

20 【0022】次に、以上のように構成された実施例の動作について数式を用いて以下に説明する。まず、振動子23、振幅測定回路24、増幅器25、および励振回路26がそれぞれ直列に接続されて、振動子23の固有周波数である発振周波数 $f_0$ で自励発振している。

25 【0023】この状態において、ダイアフラム31に測定圧力Pmが印加されて振動子23に歪 $\epsilon_1$ が発生すると、これにより生じる発振周波数 $f_{01}$ は、 $K_1$ 、 $K_2$ を定数とすれば、

$$f_{01} = K_1 \{ 1 + K_2 \epsilon_1 \}^{1/2}$$

となる。

30 【0024】一方、電流制御回路29から直流電流 $I_c$ を振動子23のピエゾ抵抗部37に流すと、ピエゾ抵抗部37はこの直流電流 $I_c$ により温度変化を引き起こしその温度係数に対応する歪 $\epsilon_2$ を発生させる。 $\alpha$ を線膨張係数とし、 $K_3$ を定数とすると、

$$\epsilon_2 = \alpha K_3 I_c^2$$

となる。

40 【0025】従って、ピエゾ抵抗部37を含む振動子23の持つ初期歪を $\epsilon_0$ とすると次のように示すことができる。

$$f_{01} = K_1 \{ 1 + K_2 (\epsilon_0 + \epsilon_1 + \epsilon_2) \}^{1/2}$$

45 【0026】ここで、電流制御回路29は周波数比較回路28における偏差がゼロになるように制御信号Sに基づいて直流電流 $I_c$ を制御して、測定圧力Pmによる歪 $\epsilon_1$ を歪 $\epsilon_2$ でキャンセルするので、結果としてこの制御信号Sは測定圧力Pmに対応する信号となる。しかも、この制御信号Sは基準周波数 $f_R$ からの偏差として出力されるので、測定圧力Pmに対応する周波数の変化幅は

小さい。

【0027】図4は振動子の他の構成を示す斜視図である。この場合は振動子38の両端の近傍でU字形に折り返した構成のピエゾ抵抗部39、40を形成したものである。このような構成にすると、図3に示すように中央部と端部での歪のキャンセルがないので、ピエゾ抵抗部でイオン注入の濃度を変えて高抵抗部と低抵抗部とを作る必要がない。

【0028】ピエゾ抵抗素子としては、その伝導形（P形或いはN形など）や材質（ポリシリコンなど）などの制限なく採用できる。また、振動子の形状も例えばH形とするなど他の形状でもよい。この他、振動子の駆動としては、例えば静電駆動、電磁駆動など他の駆動方式を採用することができる。更に、共振周波数のモニタ回路などもその構成に制限はない。

【0029】

【発明の効果】以上、実施例と共に具体的に説明したように本発明によれば、下記のような各種の効果が生じる。

（イ）共振周波数の近傍の周波数のみを検出すれば良いので広帯域の検出回路が不要となり、また信号の帯域幅が狭いので狭帯域のバンドパスフィルタを用いることができ外来ノイズに対して強くなる。

（ロ）更に、振動子の歪を常に一定に制御する構成であるので、振動子の振幅が一定となり、振幅制限回路を省略することができ、これにより検出回路の構成がシンプルになりコスト低減に寄与する。

（ハ）振動子をダイアフラム上に複数個配置した場合に、これらの各振動子間の共振周波数のロック現象がなくなるので、圧力に対する振動子の歪利用範囲の幅が広

がり、設計が容易になると共に安定な動作が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の1実施例の構成を示すシステム構成図である。

【図2】図1に示す振動子を搭載するシリコン基板の断面を示す断面図である。

【図3】図2に示す振動子部分を上面から見た部分上面図である。

【図4】図3に示す振動子の他の構成を示す斜視図である。

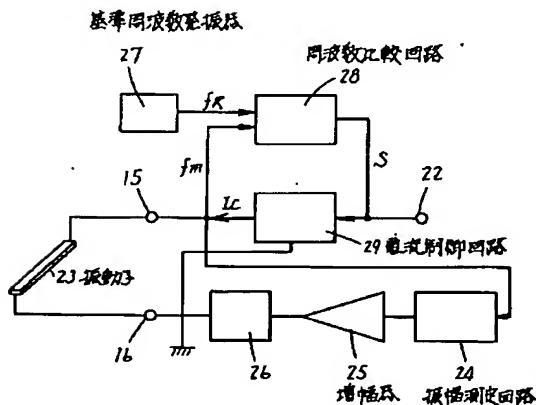
【図5】従来の振動式センサにおける検出部の構成を示す構成図である。

【図6】図5に示す検出部の振動子に接続される変換部を含むシステム構成図である。

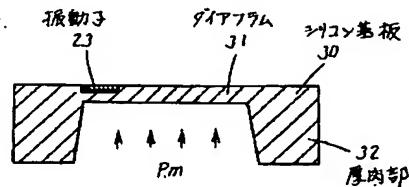
【符号の説明】

10、30 シリコン基板  
11、31 ダイアフラム  
13、14、23 振動子  
17、24 振幅測定回路  
18 AGC回路  
19、26 励振回路  
20 基準クロック発生器  
21 周波数カウンタ  
25 増幅器  
27 基準周波数発振器  
28 周波数比較回路  
29 電流制御回路  
37、39、40 ピエゾ抵抗部

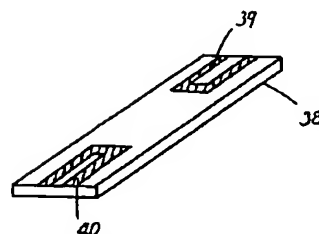
【図1】



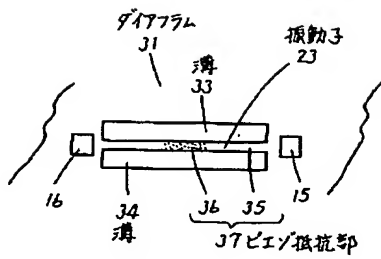
【図2】



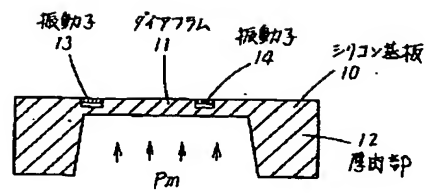
【図4】



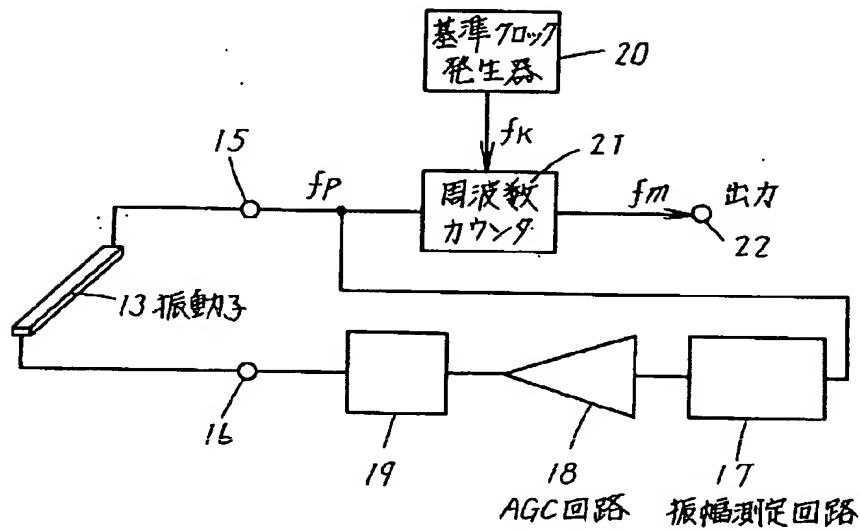
【図 3】



【図 5】



【図 6】



フロントページの続き

(72)発明者 池田 恭一  
東京都武蔵野市中町 2 丁目 9 番 32 号 横河  
電機株式会社内